第40卷 第12期
2023年12月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 12
Dec. 2023

石羊河流域水文与水资源特征及其对沙漠化影响

柴会霞[1]， 安志山[2]， 潘加朋[2,3]

（1. 甘肃省水利水电勘测设计研究院有限责任公司甘兰设计院，甘肃 兰州 730000；2. 中国科学院西北生态环境资源研究院敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站，甘肃 兰州 730000；3. 中国科学院大学，北京 100049）

摘 要： 通过分析石羊河流域降水量、径流量、输沙量等水文参数，统计沙漠化土地面积变化，揭示流域水文与水资源特征和沙漠化土地变化规律，为流域沙漠化土地防治提供科学依据与理论基础。研究表明：2005—2021年，石羊河流域降水量呈增加趋势，但变率大且维持在较低水平，多年平均降水量仅234.70 mm；1993—2004年，蔡旗水文站年径流量下降，年输沙量上升；1999—2021年，杂木寺水文站年径流量增加，年输沙量减小；2005—2021年，石羊河流域水资源总量年均减少0.24×10^8 m^3，多年平均用水量和耗水量分别为24.70×10^8 m^3和17.07×10^8 m^3，且农业和林果产业用水量和耗水量偏高。1975—2014年流域沙漠化土地总面积减小，表明区域生态治理工程取得一定成效，但不同时段和不同沙漠化类型土地变化仍有较大差异。

关键词： 石羊河流域；水文特征；水资源；土地沙漠化

土地沙漠化是指生态环境脆弱气候区内，由于气候变化、人类不合理开发利用等方式导致非沙漠化地区出现以风沙活动为主要标志的土地退化现象[1-3]。截止2019年，我国沙漠化土地已占国土面积的17.58%，为1.69×10^6 km^2，对我国生态环境产生极大危害，严重阻碍社会经济发展[4-6]。我国沙漠化土地面积大、分布广且类型多，特别在我国西北干旱区，土地沙漠化导致风沙灾害频发、生态环境恶劣，威胁当地人民生命和财产安全[7-8]。石羊河是我国河西走廊内流水系的第三大河流，孕育了武威、永昌、民勤等绿洲，对维系区域生态环境极为重要。作为我国西北干旱区内陆河流域中人口最稠密区域之一，石羊河流域也是水资源利用相对较高地区，但由于流域内生态环境脆弱、水资源利用方式不合理以及人类活动影响，导致近几十年来石羊河下游土地沙漠化和生态问题依然存在[9-14]，下游民勤县因地处内陆腹地且毗邻巴丹吉林沙漠与腾格里沙漠成为区域沙漠化最为严重的地区之一[1,10]。

当前，针对石羊河流域径流变化、极端降水特征、水资源环境、土地时空变化以及沙漠化驱动机制等研究较多[15-19]。石羊河下游民勤绿洲土地荒漠化景观格局呈现出“扩张-收缩”的变化趋势，区域内沙漠化面积减小，但形势依旧严峻，尤其在绿洲外围，半固定沙地扩张速度加快，沙漠化防治更加迫切[20-22]。流域内生态调水和输水工程对植被盖度、生物多样性、生态系统稳定性和安全、水土保持有着重要影响[23]，是有效缓解流域土地沙漠化等生态环境问题的方式之一。可见，石羊河流域水文与水资源利用对下游土地沙漠化过程有直接影响，研究石羊河流域水文水资源特征及其与沙漠化土地之间的关系对于当前防治土地沙漠化有着重要意义。但前人研究多针对流域水文特征或土地沙漠化进行单一分析评价，对两者间关系的探究尚未深入。基于此，通过分析石羊河流域水文水资源特征、统计流域沙漠化面积，探讨两者之间的相互关系，继而为流域土地沙漠化防治提供理论依据，为西北干旱区沙漠化防治提供参考。

1 研究方法

1.1 研究区概况与数据来源

石羊河（36°29′~36°27′N，101°41′ ~104°16′E）

收稿日期： 2023-06-04； **修订日期：** 2023-07-06
基金项目： 甘肃省自然科学基金（22JR5RA066）和国家自然科学基金（42171015）共同资助
作者简介： 柴会霞（1979-），女，高级工程师，主要从事水资源与水利工程规划研究. E-mail: 565003792@qq.com
通讯作者： 安志山. E-mail: an1986wen@163.com

位于河西走廊东端,地处祁连山北部、乌鞘岭以西(图1),属典型大陆性温带干旱气候,太阳辐射强、日照充足,温差大、空气干燥、降水少且蒸发强烈。流域年均降水量空间差异大且相对集中,6—9月降水量约占全年降水总量的2/3,年均蒸发量高达2000~2600 mm。流域内自西向东依次分布着西大河、东大河、西营河、金塔河、杂木河、黄羊河、古浪河、大靖河共8条集水面积较大河流和11条小河,多年平均径流量15.60×10^8 m^3。流域内主要植物有沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、灌木亚菊(*Ajania fruticulosa*)和蓍状亚菊(*Ajania achilloides*)等。沙漠化土地集中分布在河流中游和下游,其中,以民勤县内沙漠化土地面积最大、类型最典型,并由相对集中分布向分散分布和破碎分布的态势发展[15,19]。

1.2 数据来源

降水量、用水量及耗水量等数据来源于2005—2021年甘肃水资源公报,径流量和输沙量分别选取1999—2004年的蔡旗水文站和1999—2021年的杂木寺水文站,沙漠化土地分布、面积等数据来源于中国1:100000沙漠(沙地)分布数据集以及中国北方沙漠与沙漠化图集。

2 结果与分析

2.1 水文与水资源特征

2.1.1 降水量　如图2所示,通过对石羊河流域年均和月均降水量分析可知,2005—2021年,流域年

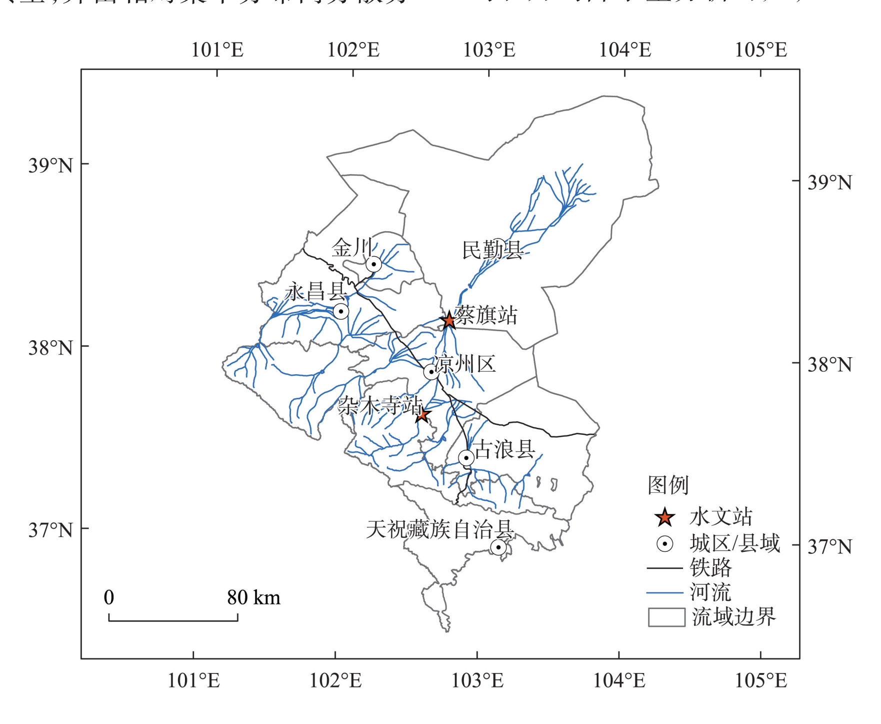


图1　石羊河流域地理位置示意图

Fig. 1　The location of study Shiyang River Basin

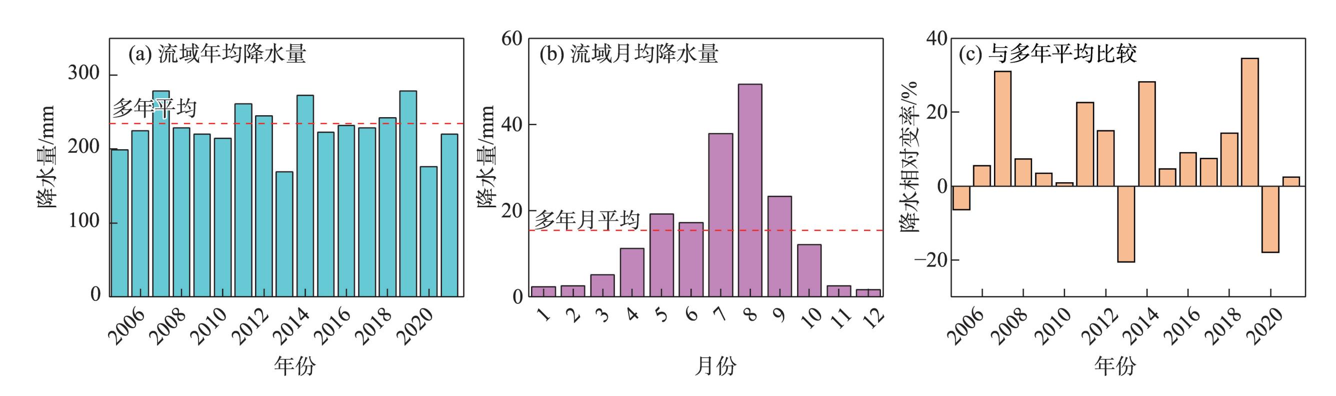


图2　石羊河流域降水量分布及降水相对变率

Fig. 2　Precipitation distribution and relative variability in Shiyang River Basin

降水量呈波动上升趋势,多年平均降水量为234.70 mm,最大和最小降水量分别为2007年的279 mm与2013年的169.30 mm,两者相差109.70 mm,可见,流域降水相对变率之大。期间超出多年平均降水量的年份有8个,最大降水相对变率值为34.60%;低于多年平均降水量的年份有9个,最小降水相对变率值为-20.50%。分析月均降水量可知,1—8月流域月均降水量呈上升趋势,8月达到最大值46.70 mm,9—12月月均降水量逐渐减小,12月达到最小值1.60 mm。进一步分析可知,年内降水集中在5—9月,该期间多年平均降水量达149.40 mm,超过全年降水量的80%,为石羊河流域"雨季",其余月份占比不足20%。总体来看,石羊河流域年均和月均降水量较少且时空分布不均,年均降水量呈波动上升趋势,但波动幅度大、稳定性差。

2.1.2 径流量与输沙量 为更清晰表述石羊河水文特征,选取杂木寺水文站和蔡旗水文站作为流域典型水文站,分析其径流量和输沙量从而揭示两者变化规律。研究表明,1999—2021年,杂木寺水文站年径流量呈上升趋势(图3),但上升幅度较小,且波动性较大,多年平均径流量为2.34×10^8 m^3。年输沙量呈减小趋势,由2001年的17.20×10^4 t减小至2017年的1.16×10^4 t,年均减少0.44×10^4 t,多年平均输沙量为11.69×10^4 t。与杂木寺水文站相比,蔡旗站年径流量1993—2004年虽部分年份略有上升,但总体呈下降趋势(图4),多年平均径流量1.23×10^8 m^3,最大、最小年径流量分别为1993年的1.85×10^8 m^{3}与2004年的0.61×10^8 m^3;与年径流量减小趋势不同,1993—2004年蔡旗站年输沙量呈增加趋势,年输沙量由1993年的13.07×10^4 t增加至2003年的52.43×

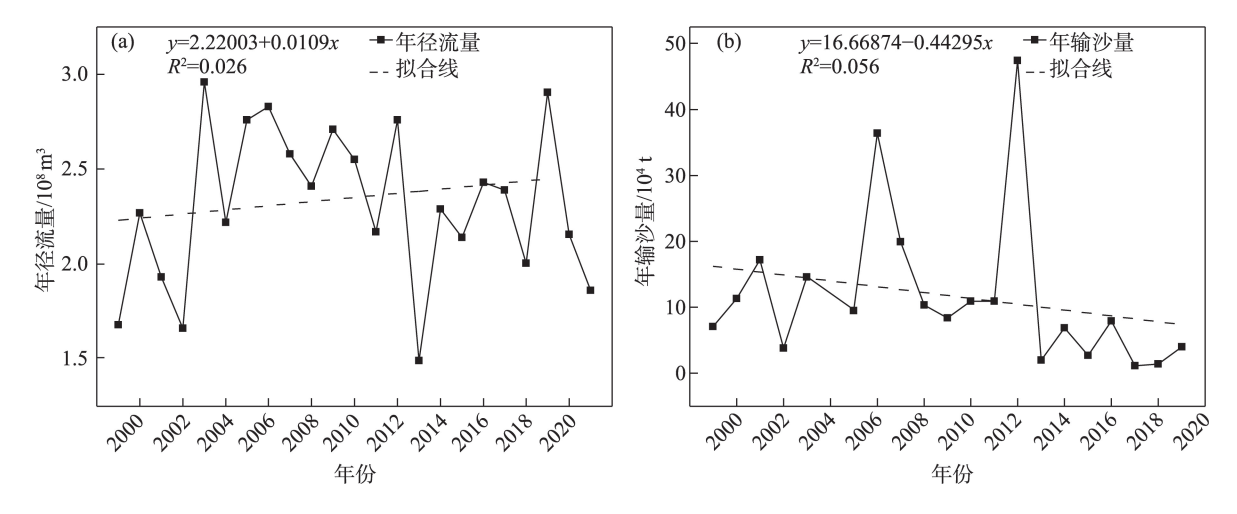


图3 杂木寺站历年径流量与输沙量过程线

Fig. 3 Course line of annual runoff and sediment discharge at Zamusi Station

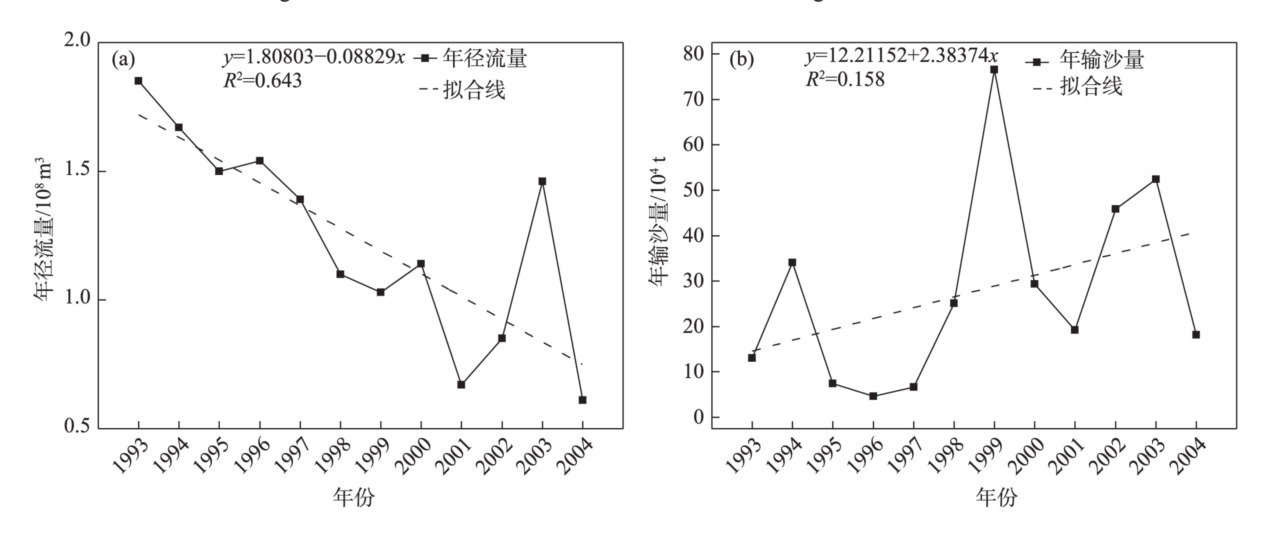


图4 蔡旗站历年径流量与输沙量过程线

Fig. 4 Course line of annual runoff and sediment discharge at Caiqi Station

10^4 t，年均增加1.87×10^4 t，多年平均输沙量也达到27.71×10^4 t。

综上可知，1993—2004年，蔡旗水文站年径流量下降但年输沙量上升，表明此期间流域内水资源短缺且水土流失严重，继而影响石羊河下游土地沙漠化进程和空间分布。1999—2021年杂木寺水文站年径流量呈上升趋势且明显高于蔡旗水文站，但年输沙量小于蔡旗水文站同期水平，即此期间武威绿洲内部存在大量引水灌溉、农田开垦等人类活动，下游径流量减小，武威绿洲内部因引水灌溉，沙漠化进程减缓，水土保持处在较好水平，生态环境改善[24-25]。

2.1.3　水资源量　由图5a可知，2005—2021年，石羊河流域地表水资源总量呈减小趋势，多年平均地表水资源总量为15.19×10^8 m^3。进一步分析可知，该时期地表水资源总量变化趋势可分为3个阶段：第一阶段是2005—2007年，水资源总量明显增加且处于较高水平，并于2007年达到峰值18.35×10^8 m^3；第二阶段是2008—2017年，水资源总量呈波动增加，总体增加2.91×10^8 m^3，但相较上阶段增加总量下降；第三阶段是2018—2021年，水资源总量明显下降。

与地表水资源总量波动变化不同，地下水资源总量在此期间呈微减趋势，年均减少0.07×10^8 m^3。进一步分析平原区与山丘区地下水资源变化趋势可知，2005—2021年平原区地下水资源呈微增趋势，而山丘区地下水资源先增后减，且平原区地下水资源总量明显高于山丘区（图5b）。平原区地下水资源补给方式包括降水入渗、山前倾向补给和地表水入渗补给等方式，年均补给量12.47×10^8 m^3。其中，地表水作为平原区地下水资源的主要补给方式，年均补给量7.70×10^8 m^3。山丘区地下水资源以河川基流量补给为主，年均补给量5.24×10^8 m^3，占到山丘区地下水资源的75.93%。

因石羊河流域地表水、地下水资源总量在2005—2021年呈微减趋势，故流域水资源总量亦呈减少趋势，由20.15×10^8 m^3减少至16.53×10^8 m^3，年均减少0.24×10^8 m^3。原因是流域降水量维持在较低水平，其对当地水资源总量贡献有限，加之后期流域面积减少，故总体上表现为减少。

2.1.4　用水量和耗水量　分析石羊河流域用水量和耗水量可知（图6），2005—2021年，流域年均用水量和耗水量分别为24.70×10^8 m^3和17.07×10^8 m^3，且无论是流域用水量或是耗水量，两者均呈下降趋势。其中，用水量由2005年的27.92×10^8 m^3减小至2021年的23.45×10^8 m^3，年均减少0.42×10^8 m^3；耗水量由2005年的19.31×10^8 m^3减小至2021年的16.88×10^8 m^3，年均减少0.28×10^8 m^3，小于年均用水量的减小量。

分析不同行业用水量和耗水量可知，流域内多年平均用水量和耗水量最高的行业均为农田灌溉，分别为20.74×10^8 m^3和14.93×10^8 m^3，而林牧渔蓄与工业多年平均用水量仅为0.89×10^8 m^3和1.54×10^8 m^3，耗水量分别为0.67×10^8 m^3和0.52×10^8 m^3，其他行业多年平均用水量和耗水量不足总量的10%，可见，流域内多年平均用水量和耗水量差异明显。进一步分析可知，水浇地年均用水量和耗水量分别为17.67×10^8 m^3和12.61×10^8 m^3，菜田用水量和耗水量明显小于前者，分别为3.07×10^8 m^3和2.32×10^8 m^3。

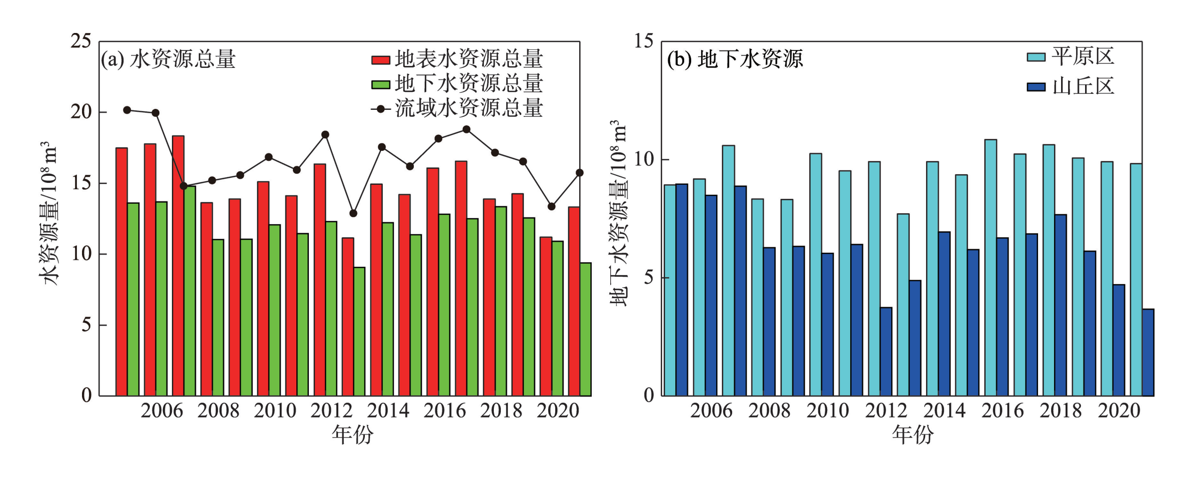


图5　石羊河流域各类型水资源分布

Fig. 5　Distribution chart of various types of water resources in Shiyang River Basin

通过拟合流域水浇地用水量、耗水量及总量可知(图7),2005—2021年,水浇地、地下用水量和总用水量均呈下降趋势且下降幅度相差较小,用水量和耗水量年均下降0.47×10⁸ m³和0.31×10⁸ m³,且菜田用水量和耗水量变化较小,相对比较稳定。

2.2 沙漠化土地面积变化

2.2.1 1975—2010年石羊河流域沙漠化土地面积变化 如图8所示,1975—2010年,石羊河流域沙漠化总面积减少,沙漠化土地总面积由1975年的5058.19 km²减小至2010年的4642.77 km²,年均减小12.83 km²,区域沙漠化进程减缓,生态环境有所改善。为更清晰揭示流域沙漠化土地变化趋势,依据地表景观、植被覆盖度、风沙活动强度、沙丘活化程度等指标进一步将沙漠化土地划分为轻度、中度、重度以及严重沙漠化4种类型。1975—2010年,流域内中度、重度沙漠化面积呈减小趋势,两者之和减少150 km²以上,轻度沙漠化面积呈先减小后增加趋势,严重沙漠化土地面积呈先增加后减小趋势。

2.2.2 2009—2014年石羊河流域沙漠化土地面积变化 分析石羊河流域2009—2014年不同类型沙漠化土地可知,此期间沙漠化总面积呈减小趋势,总面积由41735.66 km²减小到41284.43 km²,减小451.23 km²,但不同类型沙漠化土地面积变化略有差异。其中,轻度和中度沙漠化土地面积增加,增加面积均在200 km²以上,重度和极重度沙漠化土地面积大幅下降,2009—2014年两者面积减少近180 km²,可见,近年来国家和当地政府实施的生态治理工程取得一定成效。

2.3 流域水资源利用存在的问题

2005—2021年流域内总用水和耗水量虽均呈

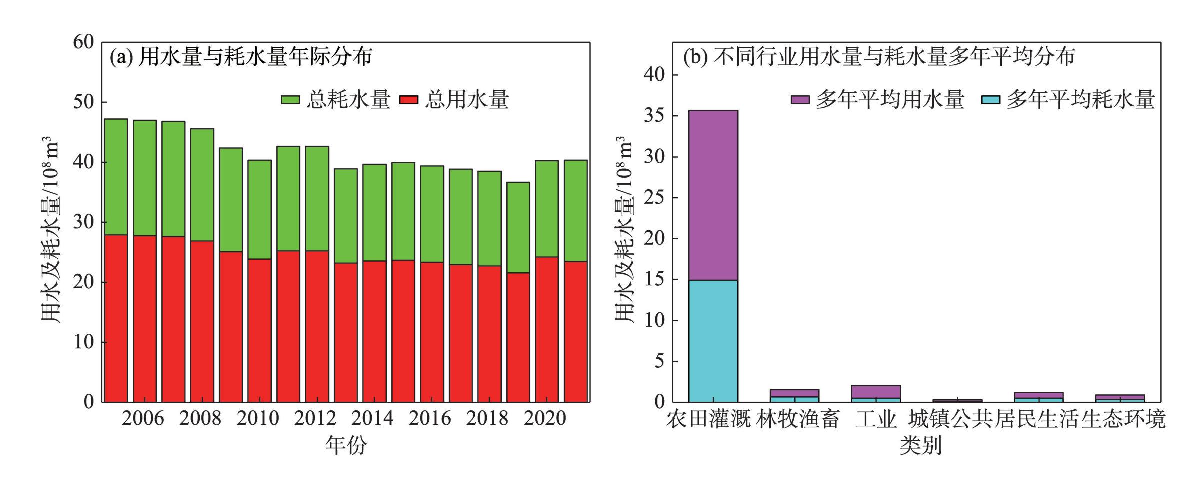


图6 石羊河流域用水量与耗水量分布

Fig. 6 Water consumption distribution chart of Shiyang River Basin

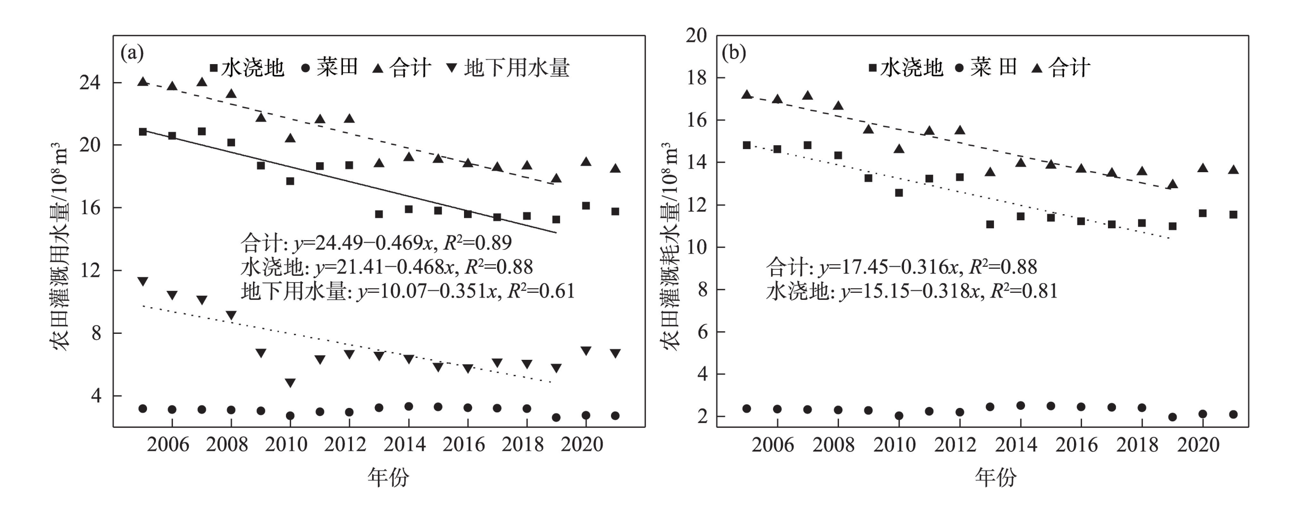


图7 农田灌溉用水量与耗水量

Fig. 7 Farmland irrigation water use, water consumption

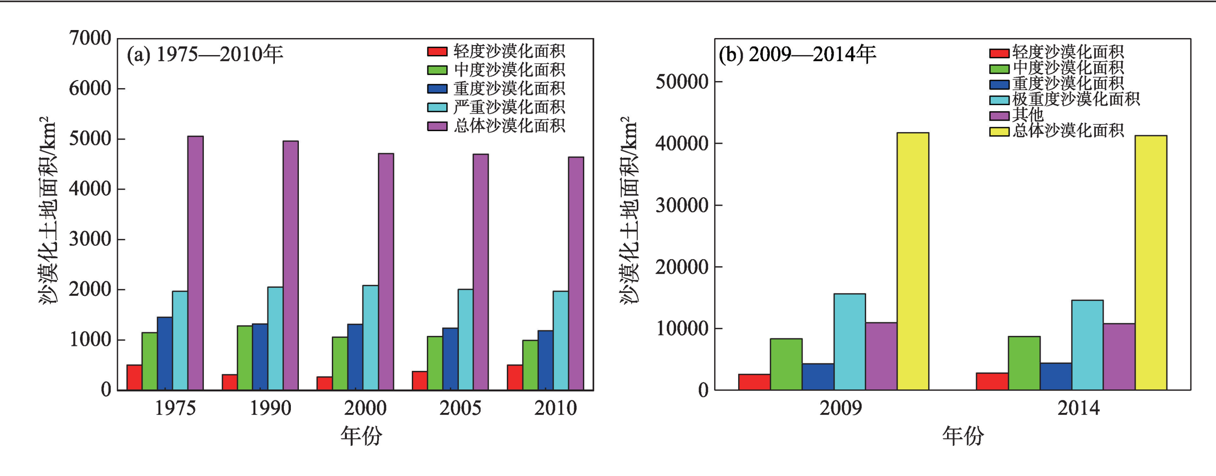


图8　石羊河流域沙漠化程度分布

Fig. 8　Distribution image of desertification degree in Shiyang River Basin

下降趋势,但从各行业多年平均用水量来看,各行业之间用水量差异较大,流域用水结构不合理。其中,农田灌溉耗水量远高于其他行业,其耗水量占到了全部耗水水量的87.47%。且流域内不同行业的用水总量高于总用水量,将会造成流域内地下水资源减小,继而对生态环境造成破坏,甚至加快流域沙漠化进程。

2005—2021年流域内林牧渔蓄总用水量呈上升趋势,多年平均值为0.89×10^8 m³。其中,林果灌溉多年平均用水量占比最高,为63.89%;牲畜用水与草场灌溉多年平均用水量占比分别为27.43%和8.68%,小于前者。可见,流域内林果产业大量发展使其在林牧渔蓄的总用水量中占比最高,其将加速区域水资源蒸发,导致流域内生态水含量下降,土地沙漠化风险提高。

3　讨论

由于石羊河流域多年平均降水量维持在较低水平,其对流域水资源总量增加贡献有限。在此背景下,流域水资源利用方式将对区域沙漠化产生较大影响。研究表明,石羊河流域2005—2021年流域用水量和耗水结构发生明显变化,用水量和耗水量呈下降趋势但保持较高水平,加之在此期间城镇人口增加、产业转型和农业灌溉等一系列人类活动,进一步激化了流域内用水和耗水结构的矛盾,影响下游土地沙漠化过程和空间分布。分析1975—2010年石羊河流域沙漠化土地面积可知,此期间除轻度沙漠化土地面积增加外,沙漠化土地总面积减少,与上述分析结论略有差异,原因正是水资源的人为调控和生态治理工程的实施。虽然流域水资源人为调控使得流域内非沙漠化区域转化为沙漠化区域的面积大大减少,沙漠化程度明显减轻,但重度和严重沙漠化土地面积仍处于较高水平,不同沙漠化程度土地在自然与人为因素的综合影响下相互转换,仍需加强对流域沙漠化土地的治理与修复以及水资源调控。基于此,亟需依据流域内用水耗水结构现状,建立集约性水资源利用体系,确立具体节水、补水措施,提高流域水资源承载力,继而从根源上缓解石羊河流域下游土地沙漠化问题,减缓流域下游沙漠化过程[26-28]。

4　结论

(1) 2005—2021年,石羊河流域降水量呈波动上升,但波动性大、稳定性差、整体水平较低,流域多年平均降水量234.7 mm,年际和年内分布不均。1993—2004年,蔡旗水文站径流量下降,输沙量上升,最大输沙量76.52×10^4 t。1999—2021年,杂木寺水文站输沙量年均减少0.44×10^4 t,多年平均径流量2.34×10^8 m³,明显高于蔡旗站,且波动性较大。

(2) 2005—2021年,石羊河流域地表水、地下水资源及水资源总量均呈微减趋势,多年地表水资源量低于平均水资源量,地下水资源量年均减少0.07×10^8 m³,流域水资源总量年均减少0.24×10^8 m³。2005—2021年流域内用水量和耗水量呈下降趋势,多年平均用水量和耗水量分别为24.70×10^8 m³和17.07×10^8 m³,且农田灌溉用水耗水量高、占比大,流域内水资源分配不均和结构不合理,对下游土地沙漠化构成潜在威胁。

（3）1975—2010年，石羊河流域沙漠化土地面积明显降低，表明流域内沙漠化程度总体好转，除轻度沙漠化土地面积增加外，其余沙漠化类型土地呈减小趋势。2009—2014年石羊河流域沙漠化土地总面积减少451.23 km^2，可见，区域生态治理工程成效显著，但重度和极重度沙漠化土地面积仍保持在较高水平，沙漠化防治任重道远。

参考文献（References）：

[1] 高斌斌, 陈翔舜, 王小军, 等. 石羊河流域下游民勤县沙漠化土地时空动态分析[J].中国水土保持, 2014(9): 47–50. [Gao BinBin, Chen Xiangshun, Wang Xiaojun, et al. Spatio-temporal dynamic analysis of desertified land in Minqin County in the lower reaches of Shiyang River Basin[J]. Soil and Water Conservation in China, 2014(9): 47–50.]

[2] 任利广, 马维伟, 李广, 等. 基于GIS的甘肃省农牧交错带土地沙漠化敏感性时空分布格局[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(6): 149–156. [Ren Liguang, Ma Weiwei, Li Guang, et al. Status analysis of desertification in Chaobaihe River Basin based on RS and GIS[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(6): 149–156.]

[3] 王小军, 陈翔舜, 魏金平, 等. 甘肃省2004—2009年土地沙漠化时空变化分析[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 33–37. [Wang Xiaojun, Chen Xiangshun, Wei Jinping, et al. Spatial and temporal changes of aeolian desertification land from 2004 to 2009 in Gansu Province[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(1): 33–37.]

[4] 赵洋, 潘颜霞, 苏洁琼, 等. 中国干旱区沙化土地绿色环保治理技术综述[J]. 中国沙漠, 2021, 41(1): 195–202. [Zhao Yang, Pan Yanxia, Su Jieqiong, et al. Research status and development trend of green and environmental protection technologies on desertification land prevention in arid region of China[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(1): 195–202.]

[5] 邴丹珲, 谈嫣蓉, 陈文业, 等. 我国沙障的研究进展与应用综述[J]. 中国水土保持, 2023(7): 37–40, 69. [Bing Danhun, Tan Yanrong, Chen Wenye, et al. Research progress and application of sand barriers in China[J]. Soil and Water Conservation in China, 2023(7): 37–40, 69.]

[6] 杨超, 李钢铁, 刘艳琦. 我国土地沙漠化治理产业化研究综述[J]. 内蒙古林业调查设计, 2019, 42(6): 20–23, 100. [Yang Chao, Li Gangtie, Liu Yanqi. Summary on industrialization of desertification control in China[J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 2019, 42(6): 20–23, 100.]

[7] 詹琪琪, 赵伟, 杨梦娇, 等. 雅鲁藏布江中部流域土地沙漠化遥感识别[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(2): 391–404. [Zhan Qiqi, Zhao Wei, Yang Mengjiao, et al. Identification of sandy land in the midstream of the Yarlung Zangbo River[J]. Journal of Geoinformation Science, 2022, 24(2): 391–404.]

[8] Tavares Jacques De Pina, Ferreira A J D, Reis E A, et al. Appraising and selecting strategies to combat and mitigate desertification based on stakeholder knowledge and global best practices in cape verde archipelago[J]. Land Degradation & Development, 2014, 25(1): 45–57.

[9] 李梓嫣. 石羊河流域生态流量分析及水资源优化配置研究[D]. 西安: 长安大学, 2020. [Li Ziyan. Study on Ecological Flow Analysis and Optimal Allocation of Water Resources in Shiyang River Basin[D]. Xi'an: Chang'an University, 2020.]

[10] 龚丞馗. 石羊河流域沙化土地危害分析及防治对策研究[J]. 甘肃科技, 2019, 35(23): 4–6. [Gong Chengdao. Hazard analysis and control countermeasures of desertified land in Shiyang River basin[J]. Gansu Science and Technology, 2019, 35(23): 4–6.]

[11] 王晓军. 1992—2016年石羊河下游民勤绿洲时空变化分析[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(7): 87–88, 90. [Wang Xiaojun. Temporal and spatial changes of Minqin Oasis in the lower Shiyang River from 1992 to 2016[J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2021, 11(7): 87–88, 90.]

[12] 陈江明. 石羊河流域气温时空变化特征与规律研究[J]. 甘肃科技, 2022, 38(18): 37–42. [Chen Jiangming. Study on temporal and spatial variation characteristics and law of air temperature in Shiyang River Basin[J]. Gansu Science and Technology, 2022, 38(18): 37–42.]

[13] 魏伟, 俞啸, 张梦真, 等. 1995—2018年石羊河流域下游荒漠化动态变化[J]. 应用生态学报, 2021, 32(6): 2098–2106. [Wei Wei, Yu Xiao, Zhang Mengzhen, et al. Dynamics of desertification in the lower reaches of Shiyang River Basin, Northwest China during 1995–2018[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(6): 2098–2106.]

[14] 赵鹏, 徐先英, 姜生秀, 等.石羊河下游不同衰退程度多枝柽柳灌丛水分利用格局研究[J]. 生态学报, 2022, 42(17): 7187–7197. [Zhao Peng, Xu Xianying, Jiang Shengxiu, et al. Water utilization pattern of *Tamarix ramosissima* Ledeb. nebkhas with different decline degrees in the lower reaches of Shiyang River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(17): 7187–7197.]

[15] 李军豪, 陈勇, 杨国靖, 等. 1975—2018年民勤绿洲沙漠化过程及其驱动机制[J]. 中国沙漠, 2021, 41(3): 44–55. [Li Junhao, Chen Yong, Yang Guojing, et al. The aeolian desertification process and driving mechanism of Minqin Oasis from 1975 to 2018[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(3): 44–55.]

[16] 段然, 李宗杰, 王昱, 等. 石羊河流域径流变化特征[J]. 中国沙漠, 2023, 43(3): 57–68. [Duan Ran, Li Zongjie, Wang Yu, et al. Characteristics of runoff change in Shiyang River Basin[J]. Journal of Desert Research, 2023, 43(3): 57–68.]

[17] 黄菊梅, 周俊菊, 窦娇, 等. 季风边缘区极端降水变化及其影响因素——以石羊河流域为例[J]. 生态学杂志, 2022, 41(3): 536–545. [Huang Jumei, Zhou Junju, Dou Jiao, et al. Variation of extreme precipitation and its influencing factors in monsoon marginal region: A case study of Shiyang River Basin[J]. Chinese Journal

of Ecology, 2022, 41(3): 536−545.]

[18] 张胜武, 石培基, 王祖静. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析——以石羊河流域为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 142−148. [Zhang Shengwu, Shi Peiji, Wang Zujing. Analysis of coupling between urbanization and water resource and environment of inland river basin in arid region: A case study of Shiyang River Basin[J]. Economic Geography, 2012, 32(8): 142−148.]

[19] 周兰萍, 魏怀东, 丁峰, 等. 1973—2010年石羊河流域耕地时空变化研究[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 483−491. [Zhou Lanping, Wei Huaidong, Ding Feng, et al. Spatial-temporal variation and dynamic evolution of the cultivated land in Shiyang River Basin from 1973 to 2010[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(3): 483−491.]

[20] 丁宏伟. 石羊河流域绿洲开发与水资源利用[J]. 干旱区研究, 2007, 24(4): 416−421. [Ding Hongwei. Oasis development and water resources utilization in the Shiyang River Basin[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(4): 416−421.]

[21] 魏怀东, 周兰萍, 徐先英, 等. 2003—2008年甘肃民勤绿洲土地荒漠化动态监测[J]. 干旱区研究, 2011, 28(4): 572−579. [Wei Huaidong, Zhou Lanping, Xu Xianying, et al. Monitoring of dynamic change of land desertification in the Minqin Oasis during the period of 2003−2008[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(4): 572−579.]

[22] 赵军, 杨建霞, 朱国锋. 生态输水对青土湖周边区域植被覆盖度的影响[J]. 干旱区研究, 2018, 35(6): 1251−1261. [Zhao Jun, Yang Jianxia, Zhu Guofeng. Effect of ecological water conveyance on vegetation coverage in surrounding area of Qingtu Lake[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(6): 1251−1261.]

[23] 蒋友严, 韩涛, 王有恒, 等. 石羊河调水10 a来民勤绿洲生态脆弱性变化[J]. 干旱区研究, 2014, 31(1): 157−162. [Jiang Youyan, Han Tao, Wang Youheng, et al. Change of ecological vulnerability in the Minqin Oasis since diversion of the Shiyang River Basin in 10 years[J]. Arid Zone Research, 2014, 31(1): 157−162.]

[24] 魏怀东, 徐先英, 丁峰, 等. 民勤绿洲土地荒漠化动态监测[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(10): 12−17. [Wei Huaidong, Xu Xianying, Ding Feng, et al. Dynamic monitoring of land desertification in Minqin Oasis[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(10): 12−17.]

[25] 张立高, 王立. 武威市凉州区沙漠化土地动态变化及防治对策[J]. 甘肃科技, 2019, 35(2): 139−141. [Zhang Ligao, Wang Li. Sandy land dynamic change and control countermeasures in Liangzhou District of Wuwei City[J]. Gansu Science and Technology, 2019, 35(2): 139−141.]

[26] 李生潜, 张彦洪, 马雁萍, 等. 石羊河流域盆地地下水动态变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(12): 145−151. [Li Shengqian, Zhang Yanhong, Ma Yanping, et al. Analysis of groundwater dynamic changes in Shiyang River Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(12): 145−151.]

[27] 王涛, 赵哈林, 肖洪浪. 中国沙漠化研究的进展[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 3−15. [Wang Tao, Zhao Halin, Xiao Honglang. Advances in desertification research of China[J]. Journal of Desert Research, 1999, 19(4): 3−15.]

[28] 刘克, 赵文吉, 胡德勇. 基于RS和GIS的北京潮白河流域沙漠化现状及成因分析[J].水土保持研究, 2008, 15(6): 157−160, 163. [Liu Ke, Zhao Wenji, Hu Deyong. Status analysis of desertification in Chaobaihe River Basin based on RS and GIS[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(6): 157−160, 163.]

Characteristics of hydrological and water resources in the Shiyang River Basin and their effects on land desertification

CHAI Huixia[1], AN Zhishan[2], PAN Jiapeng[2,3]

(1. Design Institute of Ganlan, Gansu Water Conservancy and Hydropower Survey, Design and Research Institute Co. Ltd., Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Dunhuang Gobi and Desert Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In this article, using the parameters of hydrological, water resources, and the desertification area of the Shiyang River basin in different periods, the basin hydrology, water resources, desertification, and its changes in the relationship between them were quantitatively studied. It provides the data and the theoretical basis for hydrological, water resource features, and land desertification in this area. The research showed that although the precipitation in the Shiyang River basin had increased from 2005 to 2021, the variability was large and remained at a low level, with an average annual precipitation of only 234.70 mm. From 1993–2004, the annual precipitation at the Caiqi hydrological station reduced, whereas the annual sediment transport increased. The annual precipitation at the Zamusi hydrological station increased from 1999 to 2021, whereas the annual sediment discharge decreased. From 2005 to 2021, the total amount of water resources in the Shiyang River basin decreased by 0.24×10^8 $m^3 \cdot a^{-1}$, but water consumption and water consumption remained at high levels of 24.70×10^8 m^3 and 17.07×10^8 m^3, with high water consumption and consumption in agriculture, forestry, and fruit industries, exacerbating the irrationality of water resource utilization in the basin. From 1975 to 2014, the total area of desertified land in the basin reduced, but the land changes in different periods and desertification types remained quite different, and the situation of desertification prevention and control in the basin was still grim.

Keywords: Shiyang River Basin; hydrological characteristics; water resources; land desertification